

氏 名	古 谷 博 史 ふる たに ひろ し
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理 博 第 671 号
学位授与の日付	昭 和 56 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 物 理 第 二 専 攻
学位論文題目	Cluster-Model Study of the Excited States in ${}^4\text{He}$ (${}^4\text{He}$ の励起状態のクラスター模型による研究)

論文調査委員 (主 査)
教 授 玉 垣 良 三 教 授 小 林 農 作 教 授 柳 父 琢 治

論 文 内 容 の 要 旨

原子核 ${}^4\text{He}$ は、基底状態で固く結合しているが、20.1 MeV の第一励起状態の上に数多くの励起状態が共鳴状態として現れるという特徴をもっている。申請論文は、この系における20~30 MeV 領域の一群の励起状態について系統的な理解をうることを目的とした研究である。

申請者はこの問題に対して、参考論文で行った結果に立脚し、3核子系と1核子よりなるクラスター(以下 $[3N+N]$ クラスターと略記する)のモデルを設定して研究を行った。 ${}^4\text{He}$ の励起状態には、アイソスピンの大きさ $T=0$ と1のものがある。 $T=1$ 状態は、 ${}^3\text{He}+p$ (及び ${}^3\text{H}+n$) 系において純粋に現れる状態であり、参考論文3で $[3N+N]$ クラスター・モデルで略完全に記述することに成功しているので、 $T=1$ の部分については、この結果に立脚して扱う。従って、申請論文の主たる課題は、 ${}^4\text{He}$ 系のみに見える $T=0$ 状態とそれらの $T=1$ 状態に対比しての全的理解をうることにある。

申請論文のクラスター・モデルの視点からは、一群の励起状態は片方が複合系であるスピン1/2 同士の系であってスピン自由度が本質的であり、相互作用としては、非中心力(テンソル力、スピン・軌道力)を完全に含む現実的な有効相互作用を用いるべきである。申請者は、核物質論による反応行列に基づき軽い原子核に適用するのに適した改良を加えた有効相互作用を採用した。理論的枠組としては、反対称化を完全にとり入れた生成座標法を用い、散乱の境界条件の下で結合チャンネル方程式を解き、観測量の表式に入れるべき散乱パラメーターを求める方法を採用した。

このようにして得た結果は以下のように要約できる。

(1) $[3N+N]$ のクラスター相対P波共鳴として現れる7個の負パリティの励起状態($T=0$ の 0^- , 2^- , 1^- 及び $T=1$ の 2^- , スピン3重状態を主成分とする 1^- , 0^- , スピン1重状態を主成分とする 1^-) について、 $[3N+N]$ クラスター・モデルは実験の示す大局的様相をよく説明する。

(2) エネルギー準位の順序に最も強く影響するのはテンソル力であり、その寄与はクラスター間距離 R に応じて大きく変化する。アイソスピン T にも関係するこの効果は散乱位相差のエネルギー依存性、ひい

ては実験値の再現に不可欠である。

(3) 二本の 2^- 状態 ($T=0$ と 1) の準位の間隔が実験値に比し小さすぎるという難点は、現実的核力を用いた理論に共通している。この原因を荷電交換散乱の綿密な分析によりつきつめ、問題は相互作用にあるのではなく、 $T=0$ 状態にのみ混入しうる ($d+d$) 的クラスター状態の効果と見做すべきであるとの見解を述べている。

(4) 25.5 MeV の励起エネルギーに 0^+ または 1^+ と示唆された $T=0$ 状態は存在しないことを明らかにし、もし存在するとしても他のスピン・パリティをもつとの予測をえている。

申請者は、以上のような結果にもとづいて、 ${}^4\text{He}$ の励起状態群の全体的性質が、クラスター・モデルにより、現実的な有効相互作用を通じて、よく理解しうると結論している。

参考論文 1, 2 は、従来いろいろの試みにも拘らず理解が未確定であった ${}^4\text{He}$ 核の第一励起 0^+ 状態が $[3N+N]$ クラスター構造をもつことを示した論文である。参考論文 3 は 4 核子系の $T=1$ 状態のクラスター・モデルによる研究で、あらゆる実験データを略完全に説明したものである。いずれも申請論文の先駆をなした研究である。

論文審査の結果の要旨

4 核子系では、アイソスピン $T=0$ 、スピン $S=0$ の ${}^4\text{He}$ 核の基底状態が強い結合を示す一方、 $T=1$ 状態と $T=0$ の励起状態は ${}^4\text{He}$ 基底状態からは 20~30 MeV の連続エネルギー状態の中に共鳴状態として現れている。4 核子系のこれら一群の励起状態を徹視的立場にたつて全体的に理解することが申請論文の目的となっている。

4 核子系で可能な状態がすべて現れる意味から、4 核子系を代表する ${}^4\text{He}$ の研究は今迄にも数多くなされてきた。殻模型による研究では、相互作用を現実的なものにとるとき、負パリティの 7 個の励起準位の順序を正しく与えられないという難点があった。申請者は、殻模型の 1 粒子-1 空孔状態を 3 核子と 1 核子よりなるクラスター ($[3N+N]$ と略記する) 構造の視点からみると、クラスター間距離 $R=0$ の極限に対応する意味で模型空間が狭く、実験との不一致を解消するためには、有限の R のもたらす成分が本質的であることに着目した。反応行列理論と変分法の長所をとり入れた ATMS 法による研究は、励起準位の順序は正しく与えるが、準位間相互の間隔のパターンは実験の特徴からかなりずれを示す。この方法は、現実的核力のもたらす相関効果はよくとり入れるが、殻模型と同様に本来共鳴状態である準位を束縛状態として扱うことによる弱点をもっており、散乱現象の豊富な実験データを研究対象にしないという不十分さがあった。他方、散乱問題として扱う点ですぐれているクラスター模型による研究も既に行われてはいたが、実験データとの系統的な比較検討に至ったものはなかった。

申請者は上記のような理論的研究の状況を検討し、更に対象としている準位の 1 核子換算幅が大きい点に着目して、 $[3N+N]$ クラスター模型による系統的な分析をすすめたのは、研究方針として適切なものであった。

この研究の最初の結果は、 $T=1$ 状態が関与する ${}^3\text{He}+p$ 系を扱った参考論文 3 で示され、 $[3N+N]$ クラスター模型の有効性が明らかになった。申請論文はこの成果に立脚して、 $T=0$ 状態も関与する ${}^4\text{He}$

系の研究を行ったものである。その際、問題がスピン1/2 同士の系であり核力の強い非中心力効果が本質的役割を果たすことに留意して、現実的有効相互作用を適切に選択している。

得られた結果でまず重要な点は、殻模型極限 ($R=0$) で消えていたテンソル力の三重偶状態成分の寄与がクラスター間距離 R がますにつれて増大して中間で極大を示すという変化が、実験の説明に不可欠であるという認識である。これは、クラスター構造と非中心力効果の関連を鮮かに示した知見である。申請者は、 $T=0$ については散乱位相差解析に未確定さが大きいので、偏極現象を含む多くの散乱データとの直接の比較を行って、実験の全体的特徴を再現することを示しているが、このような系統的な説明は初めてのものである。また、荷電交換散乱の分析から、 $T=0, 1$ の2本の 2^- 準位の間隔が小さすぎる問題がすべての理論に共通の難点であることを浮彫りにして、その解決には $(d+d)$ クラスター成分の $T=0$ 状態への混入を考慮する必要があることを示したのも今後の研究への重要な指摘と言える。

要約すれば、統一的理解に程遠かった ${}^4\text{He}$ 核の励起状態について、クラスター構造と現実的核力によってはじめて全体的に理解しうる段階にすゝめた研究であり、軽い原子核の領域の研究の進歩に寄与するところ大である。参考論文は、申請論文の先駆をなすものであると共に、本論文と共に、申請者のすぐれた研究能力を示している。

よって申請論文は、理学博士の学位論文として価値あるものと認める。